

# Redesign Dan Analisis Tegangan Jalur Pipa High Pressure Hydrogen Pada Project Pembangunan Plant Fatty Alcohol Di Industri Oleochemical Di Gresik

Ade Widiyanto Sulaiman<sup>1\*</sup>, Adi Wirawan Husodo<sup>2</sup>, Ekky Nur Budiyanto<sup>3</sup>

PT. Korindo Konstruksi, Jakarta, Indonesia<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>2,3</sup>

Email: [adewidiyanto@student.ppns.ac.id](mailto:adewidiyanto@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [adi\\_wirawan@ppns.ac.id](mailto:adi_wirawan@ppns.ac.id)<sup>2</sup>; [ekky@ppns.ac.id](mailto:ekky@ppns.ac.id)<sup>3</sup>;

**Abstract** –In the construction project of the new Fatty Alcohol Plant in the oleochemical industry in Gresik, there is a High Pressure (HP) Hydrogen pipeline route connected to a vessel. It was found that the pipeline route clashes with one of the main beams that supports a column. Redesigning the pipeline route is essential, and stress analysis is required because the pipeline route is both a new piping route and falls under the category of a critical line. Stress analysis using sustained, occasional, and thermal load based on ASME B31.3. The allowable pipe span calculation takes from the smallest value between the minimum distance based on the stress limit and the deflection limit. The calculation results of allowable pipe span can be accepted because the amount of support meets the minimum required amount. The calculation of flexibility has a value less than KI which is 0.004392472, so the path is declared flexible. The highest stress values at line numbers 6111GH29-4"-925E02-H50/B1 for a sustained load 4773.8 psi, occasional load 4647.6 psi and thermal load 14434.3 psi. The stress values for three load cases do not exceed the allowable stresses. For the nozzle load value is still below the allowable nozzle load value, so the design made and connected to vessel nozzle is declared safe.

**Keyword:** Allowable Span, Flexibility, Sustained Load, Occasional Load, Thermal Load

## Nomenclature

$\Delta$	Allowable deflection (in)
OD	Outside Diameter (in)
ID	Inside Diameter (in)
L <sub>s</sub>	Pipe span limitation of stress (ft)
L <sub>d</sub>	Pipe span limitation of deflection (ft)
Z	Section Modulus (in <sup>3</sup> )
S <sub>h</sub>	Allowable tensile stress (psi)
S <sub>b</sub>	Allowable bending stress (psi)
S <sub>t</sub>	Allowable torsion stress (psi)
W	Berat total (lb/ft)
W <sub>pipe</sub>	Berat total pipa (lb/ft)
W <sub>fluid</sub>	Berat total fluida (lb/ft)
E	Modulus elastisitas (psi)
I	Momen inertia (in <sup>4</sup> )
L	Panjang total pipa (ft)

## 1. PENDAHULUAN

Pada proyek pembangunan Plant baru Fatty Alcohol pada industri oleochemical di Gresik terdapat jalur pipa HP (High Pressure) Hydrogen yang terhubung pada vessel. Jalur pipa tersebut ternyata mendapati clash pada salah satu main beam yang berfungsi untuk menyangga sebuah column. Redesign pada jalur pipa tersebut sangat diperlukan dan analisis tegangan dibutuhkan karena pada jalur tersebut termasuk jalur perpipaan baru dan juga tergolong ke dalam kriteria critical line. Menurut [1] yaitu untuk

kriteria dimana sistem pipa dihubungkan dengan nozzle static equipment. Karena jalur vessel tersebut merupakan kriteria critical line, maka perlu dilakukan analisis tegangan.

Pada penelitian terdahulu, penentuan allowable pipe span meliputi perhitungan berat total pipa, perhitungan maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa, perhitungan maksimum tegangan tekuk dan defleksi [2]. Untuk melakukan perhitungan berat total pipa yaitu pertama menghitung berat pipa, berat fluida dan berat insulasi (jika ada). Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan maksimum jarak yang diijinkan berdasarkan batas defleksi dan batas tegangan. Nilai pipe span diambil dari nilai terkecil dari perhitungan tersebut. Menurut [3] Perhitungan fleksibilitas berfungsi untuk memastikan apakah tegangan, gaya dan defleksi statik akibat beban tekanan dan berat dalam keadaan aman. Beberapa kajian terkait perhitungan fleksibilitas cukup banyak dilakukan. [3] melakukan penelitian tentang perhitungan fleksibilitas menggunakan metode simplified flex analysis yang menunjukkan jalur pipa untuk mengetahui sistem tersebut fleksibel atau tidak. Menurut [4] analisis tegangan yaitu kegiatan untuk memperoleh perilaku sistem perpipaan. Analisis tegangan meliputi sustained, occasional dan thermal expansion load serta analisis beban nozzle pada jalur pipa yang terhubung dengan vessel dan nilai yang diambil dari kondisi desain dan kondisi operasi.

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan allowable pipe span, perhitungan

fleksibilitas dan analisis tegangan pada jalur pipa baru *HP (High Pressure) Hydrogen* berdasarkan kondisi pembebanan sustain, okasional dan ekspansi thermal serta analisis beban *nozzle*. Analisis dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan untuk dapat mengetahui tegangan serta beban yang diterima dari sistem.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Ketebalan Minimum Pipa

Perhitungan untuk menentukan ketebalan material diatur didalam *code* yang digunakan dalam acuan pengerjaan sebuah proyek. Penentuan ketebalan minimum (*minimum thickness*) pipa lurus berdasarkan [5] menggunakan Persamaan (1).

$$t = \frac{P \times OD}{2 (SxExW + PY)} \quad (1)$$

### 2.2 Maximum Allowable Pipe Span

Perhitungan *Maximum Allowable Pipe Span* dilakukan untuk mengetahui jarak maksimial antar penyangga. Pada perhitungan *Allowable Span* seluruh satuan menggunakan imperial unit.

$$W_{pipe} = \frac{\pi}{4} x (OD^2 - ID^2) x \rho_{pipe} x l \quad (2)$$

$$W_{fluid} = \frac{\pi}{4} x (ID^2) x l x \rho_{fluid} \quad (3)$$

$$W_{valve} = \text{Globe valve } 8''/l \quad (4)$$

Kondisi *limitation of stress* dan *limitation of deflection* berdasarkan berat pipa, fluida, dan *valve* dapat dihitung dengan rumus dari [6] yaitu:

- *Based Limitation of Stress*

$$Ls = \sqrt{\frac{0.4xZxSh}{W}} \quad (5)$$

- *Based Limitation of Deflection*

$$Ld = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{22.5xW}} \quad (6)$$

- Perhitungan *Support*

$$\sum S = \frac{L_{pipa}}{Ls} \quad (7)$$

### 2.3 Analisis Fleksibilitas Pipa

Analisis fleksibilitas pipa ini akan dilakukan pada design jalur pipa baru. Nilai fleksibilitas pipa dapat dicari dengan menggunakan rumus Persamaan (8) untuk mencari beberapa variabel yang terdapat pada persamaan tersebut maka dapat mengikuti langkah-langkah di bawah ini dengan mengacu pada [5].

$$\frac{DY1}{(L-U)^2} \leq K1 \quad (8)$$

### 2.4 Tegangan Pada Pipa

Tegangan yang terjadi pada sistim perpipaan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear*

*stress*). Tegangan normal meliputi tegangan longitudinal, tegangan tangensial dan tegangan radial.

Berikut adalah penjelasan dan rumus untuk mendapatkan masing-masing nilai tegangan longitudinal.

- Tegangan Axial

$$F_{ax} = P x Ai \quad (9)$$

$$A_l = \frac{\pi(ID^2)}{4} \quad (10)$$

$$A_m = \frac{\pi(ID^2 - OD^2)}{4} \quad (11)$$

$$S_a = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad (12)$$

- Tegangan Longitudinal Tekan

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} \quad (17)$$

- Tegangan Torsi

$$S_t = \frac{Mt}{Z} \quad (18)$$

Jadi tegangan longitudinal menurut [5] adalah

$$SL = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (19)$$

- Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial.

$$SH = \frac{PxIDxL}{2xLxt} = \frac{PxID}{2xl} = \frac{PxOD}{2xt} \quad (20)$$

- Tegangan yang arahnya sama dengan sumbu radial disebut tegangan radial. Tegangan ini berupa tegangan kompresi (negatif) jika ditekan dari dalam pipa akibat tekanan dalam (*internal pressure*), dan berupa tegangan tarik (positif) Jika didalam pipa terjadi tekanan hampa (*vacuum pressure*).

$$Rm = \frac{ro+ri}{2} \quad (21)$$

$$SR = \frac{P(ri^2 + ri^2 + ro^2)}{ro^2 + ri^2} \quad (22)$$

### 2.5 Tegangan Ijin

Persamaan penentuan nilai aktual terhadap batasan yang diijinkan pada setiap pembebanan tersebut dijelaskan sebagai berikut [5].

#### 2.5.1 Tegangan Ijin Akibat Sustained Load

Jumlah dari tegangan longitudinal (SL) yang disebabkan oleh tekanan, berat pipa dan semua komponen dalam sistem perpipaan merupakan pembebanan akibat *sustained* yang tidak boleh lebih dari tegangan ijin pada (Sh). Dimana Sh diperoleh dari [5]. Nilai tegangan izin untuk kondisi akibat pembebanan sustain ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$SL = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} < Sh \quad (23)$$

### 2.5.2 Tegangan Ijin Akibat Occasional Load

Berdasarkan [5] pada ketentuan 302.3.6 menyebutkan bahwa jumlah tegangan longitudinal yang disebabkan oleh tekanan, berat dan pembebanan sustain yang lain dan tegangan yang dihasilkan karena beban occasional seperti angin atau gempa bumi tidak melebihi 1.33 kali nilai tegangan izin dasar (Sh)

$$S \text{ due to Occasional load} \leq 1.33Sh \quad (24)$$

### 2.5.3 Tegangan Ijin Akibat Expansion Load

Tegangan izin akibat kondisi expansion thermal yang terjadi pada suatu material pipa dan komponennya akibat beban thermal yang berulang, expansion ditetapkan berdasarkan [5] dalam ketentuan 302.3.5.

$$S \text{ due to Thermal load} \leq S_A$$

$$S_A = f (1.25(S_c + 0.25Sh)) \quad (25)$$

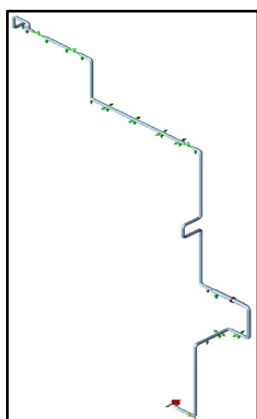
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Desain

Pemodelan sistem perpipaan *line high pressure hydrogen* menggunakan *software* dengan melakukan redesign terhadap *line* yang *clash* dan peletakan *support*. Hal ini bertujuan agar *line* dapat diaplikasikan dan untuk mendapatkan nilai yang memenuhi batasan ijin yang telah ditentukan. **Error! Reference source not found.** menunjukkan pemodelan terhadap sistem perpipaan yang telah dilakukan redesign.

### 3.2 Ketebalan Minimum Pipa

Data spesifikasi teknis pipa ditunjukkan pada Tabel 1, dan data spesifikasi fluida ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** Hasil ketebalan minimum (*minimum thickness*) pipa lurus berdasarkan persamaan (1) untuk pipa 4” yaitu 0.53 *inch*. Dapat diketahui bahwa material yang digunakan yaitu *Alloy Steel A335 Gr. P11 Sch. XXS*. Ketebalan material masih di atas dari tebal minimum perhitungan.



Gambar 1 Desain Baru pada Line Number 6111GH29-4"-925E02-H50/B1

Tabel 1 Data Spesifikasi Pipa

MATERIAL DATA			
DESCRIPTION	NOTATION	VALUE	UNIT
Outside Diameter 4"	OD	4.5	inch
Inside Diameter 4"	ID	3.150	inch
Wall Thickness 4"	t	0.73	inch
Density Pipe	$\rho_{Pipe}$	0.283	lb/in <sup>3</sup>
Section Modulus	Z	6.798	inch <sup>3</sup>
Moment Inertia	I	15.296	inch <sup>4</sup>
Modulus Elasticity	E	2690000	psi
Allowable Stress	S	16020.2	psi
Max Allowable Stress	Sa	20.000	psi
Allowable Deflection	$\Delta$	0.625	inch

Tabel 2 Data Teknis Sistem Perpipaan

DESCRIPTION	NOTATION	VALUE	UNIT
Density Fluid	$\rho_{Fluid}$	0.3247121005	lb/in <sup>3</sup>
Design Pressure	P (ds)	3625.94	psi
Operation Pressure	P (op)	3335.87	psi
Design Temperature	T (ds)	536	(F)
Operation Temperature	T (op)	429.8	(F)

Tabel 3 Perhitungan Maximum Allowable Pipe Span

DESCRIPTION	VALUE	UNIT
Density of Pipe	0.283	lb/inch <sup>3</sup>
Density of Fluid	0.003247	lb/inch <sup>3</sup>
Section Modulus (Z)	6.798	inch <sup>3</sup>
Moment Inertia (I)	15.296	inch <sup>4</sup>
Allowable Deflection (A)	0.625	inch
Max. Allowable Stress (Sa)	20.000	psi
Modulus Elasticity (E)	26900000	psi
Length (L)	68.9	ft
Weight of Pipe	27.546	lb/ft
Weight of Fluid	0.3037	lb/ft
Weight of Valve	475.196	lb/ft
Total of Weight (w)	503.081	lb/ft
Based on Limitation of Stress	9.306	ft
Based on Limitation of Deflection	13.950	ft
Total Support	7	pcs

### 3.3 Maximum Allowable Pipe Span

Dalam pengerjaan ini digunakan Persamaan (5) dan (6). Untuk perhitungan berdasarkan batas tegangan diperoleh nilai sebesar 9.306 *ft*, sedangkan hasil perhitungan berdasarkan batas defleksi sebesar 13.950 *ft*. Hasil perhitungan jarak minimum antar penyangga diambil dari nilai yang paling kecil diantara nilai jarak minimum berdasarkan batas tegangan dan berdasarkan batas defleksi. Sehingga nilai yang digunakan ialah berdasarkan batas tegangan sebesar 9.306 *ft* dan jumlah *support* sebanyak 11 buah. Perhitungan *allowable span* dapat dilihat pada

Tabel 3.

Tabel 4 Nilai Nozzle Load pada Outlet Vessel

stress pada beberapa segmen pada desain baru.

VESSEL	NODE	LOAD CASE	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	F <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>
Heat Exchanger	10	W+T1+P1	-246	496	-451	-5687	827	20564
Maximum Allowable Nozzle DN 200			lb	Lb	lb	in.lb	in.lb	in.lb
			3338	4721	4148	208347	300925	211533
Result			Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed

Tabel 5 Hasil Perhitungan Analisis Fleksibilitas Pipa

DESCRIPTION	VALUE	UNIT
L pipa X	39.95407	ft
L pipa Y	47.5689	ft
L pipa Z	17.41142	ft
Coefficient B	4.36	in./100ft
ΔX	-0.95	in
ΔY	2.07	in
ΔZ	1.39	in
Resultant	2.67	in
Displacement (Y)		
L total	104.93438	ft
Jarak kedua anchor (U)	52.62	ft
Factor (f)	0.95	-
S hot	16020.2	psi
Sa	27554.79	psi
Ea	26900000	psi
K1	0.03	-
DY1	0.004392472	-
$\frac{(L - U)^2}{(L - U)^2}$		

Tabel 6 Output Stress pada Software Analisis Tegangan

No	Load Case	Code Stress (lb/in <sup>2</sup> )	Allowable Stress (lb/in <sup>2</sup> )
1	L4 (SUSTAINED) L4 = W + P1	4773.8	16020.2
2	L6 (OCCASIONAL) L5 = W + P1 + U1	4647.6	21306.9
3	L7 (EXPANSION) L7 = L2 - L4	19832	41551.9

### 3.4 Analisis Fleksibilitas Pipa

Perhitungan mengacu pada Persamaan (8). Hasil perhitungan dari fleksibilitas pipa yaitu sebesar 0.004392472. Nilai ini masih dibawah dari ketentuan K1, sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan fleksibel. Perhitungan analisis fleksibilitas dapat dilihat pada

Tabel 5.

### 3.5 Tegangan Akibat Sustained Load

Perhitungan nilai tegangan mengacu pada persamaan (23). Tabel 6 merupakan hasil output stress di beberapa segmen pada desain baru. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 230-240 dengan nilai sebesar 4773.8 psi. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan tertinggi akibat pembebanan sustain pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

### 3.6 Tegangan Akibat Occasional Load

Perhitungan nilai tegangan mengacu pada persamaan (24). Tabel 6 merupakan hasil output

Nilai tegangan tertinggi berada pada node 350-360 dengan nilai sebesar 4647.6 psi. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan akibat pembebanan okasional pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

### 3.7 Tegangan Akibat Thermal Expansion Load

Perhitungan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal mengacu pada persamaan (25). Tabel 6 merupakan hasil output stress pada beberapa hal segmen pada desain baru. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 129-130 dengan nilai sebesar 14434.3 psi. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

### 3.8 Analisis Beban Nozzle Vessel

Perhitungan nozzle load ini berdasarkan load case dan juga standard dari vessel itu sendiri dengan menggunakan software analisis tegangan. Hasil nilai analisis beban nozzle vessel terdapat pada **Error! Reference source not found.**

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis, hasil perhitungan allowable pipe span dapat diterima karena jumlah support memenuhi jumlah minimum yang dibutuhkan. Untuk perhitungan fleksibilitas masih dibawah ketentuan, sehingga jalur tersebut dapat dinyatakan fleksibel. Nilai tegangan dari ketiga pembebanan masih dibawah allowable stress berdasarkan [5] dan menunjukkan tidak ada masalah untuk desain yang terpasang langsung pada nozzle vessel. Nilai beban nozzle vessel juga masih di bawah nilai allowable nozzle load vessel.

## 5. PUSTAKA

- [1] D.N.V. DnvGL, "STRUCTURAL ANALYSIS OF PIPING SYSTEMS recommended practice dnv-rp-d101," no. October, 2008.
- [2] P. Mahardhika, "Penentuan Allowable Span Antar Penyangga Pipa Slf Berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami," *J. IPTEK*, vol. 21, no. 2, p. 27, 2017, doi: 10.31284/j.iptek.2017.v21i2.149.
- [3] P. Mahardhika, E. Julianto, A. Indartono, and G. E. Kusuma, "Analisa Pengaruh Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan Dan Fleksibilitas Pipa Blowdown a106 Grade a Berdasarkan Asme B31.3," *Teknik*, vol. 39,

- no. 1, p. 67, 2018, doi:  
10.14710/teknik.v39i1.17118.
- [4] T. Pratama, "Pelatihan dasar analisa tegangan pipa," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2004.
- [5] ASME B31.3, *Process Piping*, vol. 76, no. 8. 2018. doi: 10.1016/b978-0-12-818648-0.00002-8.
- [6] S. Kannapan, *26418738-Introduction-to-Pipe-Stress-Analysis-Sam-Kannappan-1986*. 1986.